

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Васильєва Юлія Олегівна

УДК 621.327.543

**СВІТЛОДІОДНІ ОСВІТЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ВОЛОКОННИХ
ЕНДОСКОПІВ ДЛЯ ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГІЇ**

05.09.07 – світлотехніка та джерела світла

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі світлотехніки та джерел світла Харківської національної академії міського господарства Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Ільїна Наталія Олександрівна,
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків,
професор кафедри світлотехніки та джерел світла

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Сосков Анатолій Георгійович,
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків,
завідувач кафедри електротехніки

– кандидат технічних наук, доцент
Кислиця Світлана Григорівна,
Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава,
доцент кафедри автоматики і електропривода

Провідна установа – Національний науковий центр “Інститут метрології”
Державного комітету України з технічного регулювання та споживчої політики, м. Харків

Захист відбудеться “_____” _____ 2007 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.086.02 при Харківській національній академії міського господарства (61002, м. Харків, вул. Революції, 12)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської національної академії міського господарства за адресою: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12

Автореферат розісланий “_____” _____ 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Поліщук В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з важливих методів діагностики і лікування різноманітних захворювань є ендоскопія. За допомогою ендоскопічної техніки проводиться візуальний огляд внутрішніх порожнин організму людини, біопсія, хірургічний та терапевтичний вплив на біологічні тканини лазерним випромінюванням, промивання порожнини та наповнення її повітрям або рідиною, введення лікарських розчинів, видалення новоутворень та інородних тіл і т.д. Крім візуального спостереження, може виконуватися фото- та ТБ-документування окремих етапів ендоскопії.

Основою медичного ендоскопа є освітлювальна система, яка дозволяє отримати зображення біологічного об'єкта, спостереження якого неозброєним оком неможливо, що обумовлено особливостями будови організму людини. Завданням, що постає при розробці освітлювальної системи медичного ендоскопа, є отримання зображення біологічного об'єкта високої якості. Ця якість оцінюється геометричною, фотометричною і колориметричною подібністю зображення об'єкта, тобто правильним відтворенням форми, розподілом яскравості й колірною структурою об'єкта.

Діагностика й оперативне втручання при ендоскопічних методах обстеження здійснюються візуально за допомогою світла, відбитого від досліджуваного об'єкта. У ранніх конструкціях ендоскопів джерелом світла служила мініатюрна лампа розжарення на дистальному кінці ендоскопа. У процесі розвитку ендоскопічної техніки, появі гнучких ендоскопів з волоконними світловодами в системі освітлення і зображення джерело світла почали розміщувати в переносних і стаціонарних світлових пультах-освітлювачах, що живляться від промислової мережі. Така конструкція ендоскопа стала більш електро- і термобезпечною, з'явилася можливість використовувати нові високоінтенсивні джерела світла. Ранні конструкції освітлювачів містили джерела світла, що вимагали юстування, понижуючий трансформатор, вентилятор, дрововий або галетний регулятор напруги на лампі. Практика ендоскопічних досліджень показала, що при надмірному освітленні об'єкта в його зображенні можуть бути присутні яскраві плями, що викликають тимчасове осліплення. Це призводить до зорового дискомфорту і стомлення. Крім того, збільшення напруги на джерелі світла (особливо на лампах розжарювання) спричиняє передчасне скорочення терміну його служби. Недоліками конструкції існуючих моделей освітлювачів є також нерівномірність освітлення поля зору, використання джерел світла із завищеною потужністю, що збільшує габарити і вагу приладів.

Широке впровадження в медичну практику ендовідеохірургічних методів, що дозволяють вирішувати складні діагностичні й лікувальні питання, вимагає постійного вдосконалення ендоскопічної техніки. Зберігається

тенденція збільшення кута поля зору ендоскопів, підвищення яскравості досліджуваного об'єкта з урахуванням підтримки рівномірності освітлення поля зору.

У розвитку сучасних джерел світла для ендоскопів з волоконними світловодами можна виділити загальні тенденції. До них відносяться: підвищення світлового потоку, прагнення наблизити спектр випромінювання до спектра денного світла, зменшення розмірів світного тіла, збільшення терміну служби, зменшення габаритів і маси освітлювальних приладів. Але стосовно до світлодіодів дослідження в даній галузі не мали системного характеру. Крім того, потребують подальшого розвитку теоретичні положення щодо застосування світлодіодів у освітлювальних системах ендоскопів з урахуванням технічних та медичних умов, що мають суттєвий вплив на якість освітлення в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до державної бюджетної теми Міністерства освіти і науки України за номерами КПКВС 2301020 “Фундаментальні розробки у сфері профілактичної та клінічної медицини”, а саме: “Діагностика і лікування хворих з травматичними пошкодженнями органів дихання і їх ускладнення”, “Розробка Національної Програми клініко-імунологічного моніторингу за дітьми з вродженими первинними імунодефіцитами”, КПКВС 2301170 0732 “Діагностика і лікування захворювань із впровадженням експериментальних та нових медичних технологій у клініках науково-дослідних установ та вищих навчальних медичних закладах Міністерства охорони здоров'я України”; відповідно до КПКВС за номером 230130 “Прикладні розробки у сфері профілактичної та клінічної медицини”, де автором проведені дослідження освітлювачів медичних ендоскопів з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування технічної розробки світлодіодних освітлювальних систем волоконних ендоскопів для оториноларингології, що мають велике значення для достовірної діагностики патологій вуха-горла-носа, з урахуванням конфігурації порожнини, її розмірів, а також світлотехнічних характеристик тканин і органів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні наукові завдання:

- аналіз відомих конструкцій освітлювачів для ендоскопів;
- вдосконалення відомих і розробка нових методів аналізу і синтезу освітлювальних систем ендоскопів, що включають волоконну оптику і світлодіоди;
- розробка методики розрахунку світлотехнічних характеристик освітлювальної системи медичних ендоскопів з волоконними світловодами для візуального спостереження;

- розробка критеріїв оцінки якості освітлювачів ендоскопів;
- створення моделі операційної порожнини ЛОР-органів для врахування відображень тканинами людини при розрахунку освітлювальної системи ендоскопа;
- обґрунтування ефективності роботи світлодіодів в освітлювальних медичних приладах;
- постановка експерименту з метою вибору оптимального джерела світла для медичних волоконних ендоскопів.

Об'єкт дослідження – процеси, що визначають ефективність освітлювальних систем медичних волоконних ендоскопів.

Предметом дослідження в роботі є ендоскопи медичного призначення з сучасними освітлювальними системами на основі світлодіодів.

Методи дослідження – використання диференційного та інтегрального числення при аналізі оптичних процесів і характеристик, фотометричні методи дослідження, спектральний аналіз, а також комплексне використання пакетів комп'ютерних програм при моделюванні й розробці методики оцінки якості зображення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- для системного вирішення задач дослідження створена і вперше представлена класифікація типів існуючих оториноларингічних захворювань і колірних змін, що відбуваються при даних захворюваннях, що має велике значення для світлотехнічних розрахунків освітлювальних систем ендоскопів і розробки математичної моделі операційної порожнини;
- набули подальшого розвитку положення з визначення і мінімізації рівня освітленості при спостереженні біологічного об'єкта через ендоскоп на основі узгодження спектральної чутливості приймачів, особливостей зорового сприйняття і фотометричних характеристик досліджуваних об'єктів;
- розроблена математична модель спектра світлодіодів на основі гауссовської функції, що дозволяє вперше розрахувати світлотехнічні параметри світлодіодів і їх комбінацій;
- вперше показано, що найбільша ефективність використання випромінювання світлодіодів може бути досягнута при узгодженні апертурних кутів світловода і світлодіода, що досягається вибором геометрії оптичного ковпака світлодіода за умови зміни сферичної форми ковпаків світлодіодів плоскою поверхнею;
- набуло подальшого розвитку дослідження роздільної здатності волоконно-оптичних ендоскопів на основі Фур'є-аналіза і цифрових технологій, що дозволяє порівнювати роздільну здатність освітлювачів ендоскопів з різними джерелами світла.

Практичне значення одержаних результатів полягає у такому:

1. Розроблені в дисертаційній роботі нові положення теорії проектування освітлювальних систем медичних ендоскопів дозволяють підвищити ефективність проведення НДР при створенні нових зразків і модернізації відомих у КБ підприємств цієї області, підвищити якісні результати розробок.

2. Отримані автором розв'язки задач теорії розрахунку і моделювання світлодіодних освітлювальних пристроїв дозволяють істотно скоротити обсяг експериментальних досліджень або повністю їх виключити, що дає можливість значно знизити витрати матеріальних ресурсів, коштів і часу на випробовування виробів. Крім цього, окремі теоретичні результати є значним внеском у загальну теорію математичного моделювання світлотехнічних систем.

3. Розроблені світлодіодні освітлювачі дозволяють підняти якісні показники відомих ендоскопічних пристроїв, підвищити їх світлотехнічні характеристики. Результати експериментальних досліджень різних медичних освітлювальних пристроїв, явищ і процесів, наведені в роботі, становлять практичний інтерес при проектуванні нових і модернізації відомих освітлювальних пристроїв, дозволяють уточнити уявлення про перебіг процесів, супутних процесам висвітлення діагностуючої або операційної порожнини людини. Дослідні зразки розроблених, виготовлених і досліджених освітлювачів знайшли практичне застосування у клінічному центрі ендоскопічних і проктологічних досліджень «Клиника Проценко», одержали позитивну оцінку відомих фахівців-медиків, зайнятих у сфері використання сучасних оптичних засобів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: в [2] - розрахунок електричних характеристик стабілізованого джерела живлення світлодіодного модуля освітлювача ендоскопа; в [3] - створено модель спектра світлодіодів, а також виконано її тестування і налагодження, розробку методики визначення світлової ефективності світлодіодів, одержання розрахункових формул і співвідношень; в [5] - методика розрахунку освітленості на входному торці джгута ендоскопа.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися й обговорювалися на міжнародних конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції "Фізичні і технічні проблеми світлотехніки та електроенергетики", м. Харків, 2005 р.; на XXXIII науково-технічній конференції викладачів, аспірантів та співробітників Харківської національної академії міського господарства, м. Харків, 2006р.; Міжнародній конференції "Проблеми сучасної електротехніки", м. Київ, 2006 р.

Публікації. Основний зміст дисертації викладений у 9 публікаціях, в тому числі, у 7 статтях і 2 тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 180 сторінок, у тому числі 152 сторінки основного тексту, 60 рисунків і 3 таблиці, додатки на 10 сторінках. Список використаної літератури включає 154 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета й завдання наукового дослідження, наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами, показана наукова новизна, практичне значення і реалізація результатів дисертаційного дослідження, наведені дані про їхню апробацію, публікацію і впровадження.

У першому розділі “Гнучкі оптичні освітлювальні засоби на базі волоконної оптики та їх використання в медицині” досліджені особливості оториноларингоскопічних захворювань з метою визначення можливості їх діагностування за допомогою засобів та методів світлотехніки. Показано, що при ендоскопічних обстеженнях велике значення має динаміка відбиваючої здатності уражених біологічних тканин. Класичний ендоскоп являє собою двоканальну оптичну систему. Перший канал – освітлювальний – передає світло від освітлювача на досліджуваний об’єкт. Відбите об’єктом світло надходить до другого каналу – інформаційного, який відтворює зображення досліджуваного об’єкта на сітківці ока лікаря або на електронному приймачі зображення телевізійної системи.

Здійснено аналіз існуючих вітчизняних і зарубіжних волоконно-оптичних приладів як засобів діагностування з метою визначення реального стану справ у відповідних теоретичних та експериментальних дослідженнях. Важливе значення, як свідчить досвід ендоскопічних обстежень, має підвищення ефективності роботи освітлювачів для ендоскопічної техніки і удосконалення їх конструкції.

У дослідженнях, що проводилися раніше, використовувалися промислові норми освітленості поверхні об’єкта при контролі його дефектів неозброєним оком. Наприклад, в одному з розділів стандарту зазначено, що для розміру дефектів 0,15 мм при контрасті дефекту із фоном $0,2 < k < 0,5$ (де k - контраст дефекту із фоном), комбінованому освітленні й світлому фоні освітленість має бути не менше 2000 лк при використанні ламп розжарювання; при загальному освітленні величина освітленості має бути не менше 300 лк.

Наявність такого значного розкиду припустимих рівнів освітленості, що залежать, очевидно, і від економічних причин, зробило результати цих досліджень досить невизначеними. Крім того, в іншому розділі цього стандарту вказано, що при візуально-оптичному методі контролю дефектів мінімальна яскравість зображення об’єкта має бути не менше 1 кд/м^2 . У цьому випадку не

враховуються характеристики контролюваного об'єкта (колір, контраст, розмір дефектів).

Таким чином необхідно дослідити цю проблему більш детально, з урахуванням того, що рівень освітленості біологічного об'єкта при візуальній реєстрації повинен забезпечувати: відсутність фізіологічного дискомфорту при спостереженні ендоскопічної картини; максимальну насиченість кольорів у зображенні біологічного об'єкта; узгодження роздільної здатності ока спостерігача з роздільною здатністю ендоскопа, тобто одержання максимальної роздільної здатності оптичної системи “ендоскоп – око”.

Відомо, що вирішальну роль у діагностиці захворювань відіграє колірна оцінка стану біологічних тканин. Максимальна колірна насиченість зображення біологічного об'єкта залежить від освітленості самого об'єкта.

Існуючі освітлювачі мають недоліки, пов'язані з недосконалістю конструкцій застосовуваних джерел світла: великі габарити приладів; мала довговічність ламп; низький рівень яскравості джерел світла, у результаті чого не можна робити якісну відеозйомку внутрішніх органів.

У дисертаційній роботі розглядається новий підхід до вирішення даної проблеми. Запропоновано освітлювальну систему, як джерело світла якої пропонується використовувати світлодіоди.

У порівнянні з освітлювачами, що використалися раніше на базі галогенних, металогалогалогенних і ксенонових ламп, освітлювачі із застосуванням світлодіодів будуть характеризуватися рядом переваг: відсутністю вакуумно-скляної конструкції, малим споживанням енергії і тепловиділенням, відсутністю ультрафіолетового випромінювання, високою механічною міцністю - ударо- і вібростійкістю, відсутністю спеціальних патронів і відбивачів, широким діапазоном кольорів випромінювання, високою надійністю і довговічністю, малими масою і габаритами.

Аналіз показав, що досі немає даних, які дозволяють ефективно використовувати світлодіоди в освітлювальних системах волоконних ендоскопів для оториноларингології.

У другому розділі “Розробка сучасної освітлювальної системи для медичних ендоскопів” розглянуті питання, пов'язані з розробкою сучасної освітлювальної системи для медичних ендоскопів. Аналізуються структура й роль освітлювального пристрою ендоскопа в загальній схемі оптичної системи.

Узагальнюється принцип побудови оптико-механічної системи освітлювального пристрою ендоскопа, блок-схема якої подана на рис.1. Принцип її дії заснований на взаємодії оптичних, механічних, електронних і світлотехнічних систем, об'єднаних в єдиний медичний прилад. Блок-схема ендоскопа в загальному випадку містить у собі такі елементи: джерело світла 1, конденсор 2, волоконний світловод 3, перехідний пристрій 4, світлопровідна система 5, включаючи систему формування пучка підсвічування 6, об'єктив

ендоскопа 7, система передачі зображення 8, окуляр 9, фотографічний об'єктив 10, фотоплівка 11, телевізійний об'єктив 12, телевізійна камера 13, монітор 14. При цьому позицією 16 відзначена досліджувана біологічна тканина, а 15 - око спостерігача. Підсистеми 1 - 6 утворюють освітлювальний пристрій, а 7 - 14 - спостерігаючу систему ендоскопа.

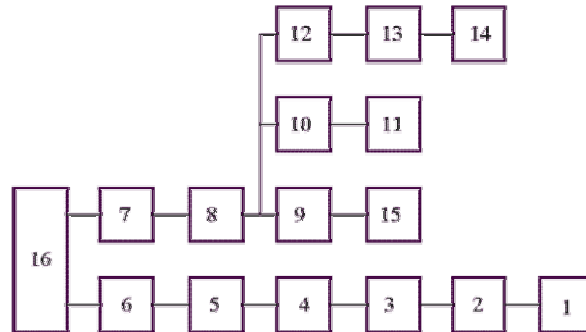


Рис.1. – Блок-схема оптичної системи ендоскопа

Встановлено, що при візуальних спостереженнях через ендоскоп важливо оцінити освітленість зображення на сітківці ока, що характеризує суб'єктивну яскравість цього зображення; дослідити закономірність зміни освітленості в полі операційної порожнини; зробити кількісний аналіз необхідних величин освітленості досліджуваної порожнини.

Дослідження світлових параметрів освітлювачів медичних ендоскопів, показали необхідність урахування в розрахунках світлотехнічних характеристик біологічних тканин людини.

Створення оптимального контрасту ушкодженої ділянки біологічної тканини стосовно фону оперованої порожнини є важливим аспектом з погляду розпізнання ушкодження. Тому для оцінки закономірності зміни освітленості по полю ушкодження досліджуваної тканини введений коефіцієнт форми k'_ϕ , що визначається відношенням контрасту K до коефіцієнта амплітуди випромінювання ушкодження, тобто

$$K = k'_\phi k_a \quad (1)$$

Коефіцієнт амплітуди випромінювання ушкодження знаходимо з виразу

$$k_a = (E_{max} - E_{min}) / (E_{max} + E_{min}), \quad (2)$$

де E_{max} і E_{min} – максимальне і мінімальне значення освітленості відповідно.

За значенням коефіцієнта форми k'_ϕ доцільно оцінювати пристосованість приймача до характерних рис зображення ушкодження тканини. Зі збільшенням k'_ϕ можливість чіткого розмежування контрасту зображень ушкодження і фону збільшується, що сприяє поліпшенню якості ендоскопії біологічного об'єкта.

При візуальному контролі нами було також встановлено, що особливе значення має передача півтонів, тому що візуально ушкодження внутрішніх порожнин організму людини розрізняються саме за закономірністю зміни

півтонів по полю зору досліджуваних біологічних тканин. При дослідженні гортані, вуха, носа оториноларингологи звертають увагу на колір слизистих оболонок відповідних органів, а також на кольори виділень, що можуть супроводжувати певні захворювання. Нами був проведений аналіз результатів клінічного обстеження ЛОР-органів і виділені колірні зміни, що відбуваються при захворюваннях вуха-горла-носа. Було встановлено, що джерелом випромінювання слід вибирати джерела світла, які не будуть спотворювати досліджувані кольори тканини. Крім цього, нами запропоновано враховувати відбиття світла тканинами людини при розрахунку освітлювальної системи ендоскопа. Об'єкт медичного дослідження недостатньо вивчений з точки зору світлотехніки, тому є сенс розглянути його більш ретельно, щоб у подальшому використовуючи, елементи чисельної математики, апроксимувати порожнини вуха-горла-носа узагальненою математичною моделлю.

Якщо відома крива сили світла світильника, то розподіл освітленості в порожнині операційної рани залежить від виду операції і ступеня затінення операційного поля. Вид операції визначає певною мірою конфігурацію порожнини, її розміри, а також світлотехнічні характеристики тканин й органів, що перебувають у полі зору хірурга, впливаючи таким чином на розподіл освітленості.

Для кожного типу дослідження приблизно й досить умовно можна охарактеризувати порожнину рани, що відповідає найбільш складним операціям. Її можна представити або усіченим конусом, або перевернутим повним конусом з певними геометричними розмірами. При цьому рівень освітленості, який необхідно забезпечити в порожнині, розглядається як середній.

Таким чином, завдання оцінки світлових параметрів освітлювача зводиться до визначення необхідного світлового потоку, що падає в порожнину рани. У загальному випадку світловий потік

$$\Phi_n = \frac{E_n S_n}{\gamma}, \quad (3)$$

де S_n - площа повної поверхні порожнини; γ - коефіцієнт багаторазових відображень порожнини; E_n - освітленість пошкодженої ділянки.

Оцінку коефіцієнта багаторазових відбиттів γ виконували з розгляду апроксимації рани у формі повного конуса (рис. 2), для якого коефіцієнт використання площі основи щодо бічної поверхні конуса позначено через u_o . Оскільки відбиття від тканин і органів спрямовано розсіяне, але нормалі до різних ділянок поверхні порожнини орієнтовані досить довільно, в першому наближенні можна вважати, що індикатриса розсіювання має форму сфери, тобто відбиття від стінок порожнини в середньому рівномірне.

Прийняте припущення дозволяє вважати u_o чисельно рівним відношенню потоку, що вийшов з порожнини після першого відбиття, до всього відбитого потоку. Оскільки зазначені потоки при рівномірному розподілі відбитого потоку

пропорційні відповідним тілесним кутам, то природно припустити

$$u_o = \frac{1}{2\pi S_{II}} \int \omega_o dS_{II} \quad , \quad (4)$$

де ω_o — тілесний кут, що спирається на основу конуса з вершиною в довільній точці порожнини.

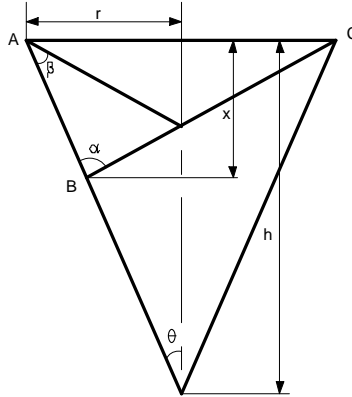


Рис.2. Модель операційної порожнини для розрахунків коефіцієнта багаторазових відбиттів

З урахуванням відбитого потоку (знаменник формули (4)) і потоку, що вийшов з порожнини, а також враховуючи геометричні особливості моделі, одержали наступний вираз:

$$u_o = \frac{1}{2} \sin 2\theta \int_{2\theta}^{\frac{\pi}{2} + \theta} \frac{\cos 2\theta - \sin 2\theta \operatorname{ctg} \alpha}{\cos^2 \frac{\alpha}{2} \cos \left(\theta - \frac{\alpha}{2} \right)} d\alpha \quad (5)$$

При наближеному розрахунку коефіцієнт використання вихідного отвору порожнини відносно її бокових поверхонь визначається як співвідношення відповідних площ цих поверхонь. Для даного випадку з урахуванням площі бічної поверхні

$$u_o = \sin \theta \quad . \quad (6)$$

На рис.3 наведені графіки залежностей u_o від θ , розраховані за формулами (5) і (6). Незважаючи на помітну різницю між кривими, розходження в коефіцієнті багаторазових відбиттів не перевищує 10% при найбільшому коефіцієнті відбиття операційного поля, тобто при максимальній залежності від u_o . γ розраховується за формулою

$$\gamma = \frac{1}{1 - \rho(1 - u_o)} \quad , \quad (7)$$

де ρ - середній коефіцієнт відбиття операційного поля.

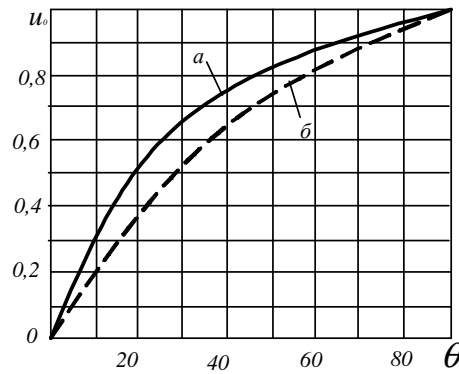


Рис.3. Графік залежності коефіцієнта використання площі основи конуса щодо його бічної поверхні: а - точний розрахунок (за формулою (5)); б - наближений розрахунок (за формулою (6))

У процесі досліджень встановлено, що джерело світла – його розміри, форма світлого тіла й розподіл яскравості $L_0(x)$ по його поверхні впливають на роботу ендоскопа, якість зображення, що визначає важливість уміння впливати на ці характеристики джерела світла.

Останнім часом з'явилася широка номенклатура світлодіодів, лінійок і матриць світлодіодів. У зв'язку з цим з'явилася можливість використання світлодіодів в освітлювальній системі ендоскопа. Важливим тут є здатність формування функції $L(x)$ за бажанням розроблювача.

У даній роботі розглядається можливість застосування в освітлювачі як джерела світла світлодіодного модуля. Живлення світлодіодних модулів здійснюється низьковольтною стабілізованою напругою.

У третьому розділі “Дослідження характеристик розроблених освітлюваних медичних приладів на основі світлодіодів” розглянуті особливості характеристик розроблених освітлювачів медичних приладів на основі світлодіодів.

Перш ніж приступити до аналізу оптичних характеристик світлодіодів та їх ролі в освітлювальних пристроях ендоскопів, був уточнений необхідний мінімальний рівень освітленості, який повинен забезпечувати освітлювальний прилад на входному торці з'єднувального джгута ендоскопа. Світлотехнічний розрахунок ларингоскопа проводили, виходячи з норм на ендоскопи медичні, за якими найменша освітленість становить 100 лк. На підставі цієї величини знайдемо освітленість у точці на осі неозброєного схематичного ока за формулою, відомою з теорії оптичних приладів:

$$E = \pi L \left(\frac{n'}{n} \sin u' \right)^2, \quad (8)$$

де E - освітленість зображення для точки на осі; τ - коефіцієнт пропускання світла оптичною системою; L - яскравість об'єкта; u' - задній апертурний кут; n' - коефіцієнт заломлення останнього середовища; n - коефіцієнт заломлення

першого середовища. Після ряду перетворень і розрахунків одержали, що система “ендоскоп-око” повинна забезпечувати освітленість на сітківці ока не менше 0,6 лк.

Розрахунок проводили в порядку, зворотньому напрямку поширення світла, тобто від системи спостереження до освітлювальної системи. Був встановлений взаємозв'язок різних параметрів ендоскопа, в якому використовуються оптико-волоконні джгути, що забезпечує одержання мінімальних освітленостей, на якому ґрунтувалася методика розрахунку. За розробленою методикою була написана відповідна програма в середовищі MathLab. На рис. 4 наведений приклад розрахунку мінімального рівня освітленості на входному торці світловода при спостереженні об'єкта через ларингоскоп, що має наступні параметри: максимальна робоча відстань від вихідного торця освітлювального жгута ендоскопа до об'єкта спостереження $r=0,05\text{м}$; половинний апертурний кут пучка, що входить до джгута $i=30^\circ$; площа входного торця з'єднувального джгута $S=19,6 \cdot 10^{-6}\text{м}^2$; коефіцієнт дифузного відбиття об'єкта в даному напрямку $\rho=0,33$; діаметр зіниці ока $D_1=3\text{мм}$; коефіцієнт пропускання системи ендоскоп-око $\tau_2=0,16$; коефіцієнт пропускання світла освітлювальною системою $\tau_3=0,1$. Дослідження підтвердили, що світлодіоди можуть бути використані для освітлення при діагностиці за допомогою медичних ендоскопів при наявності сучасних телекамер.

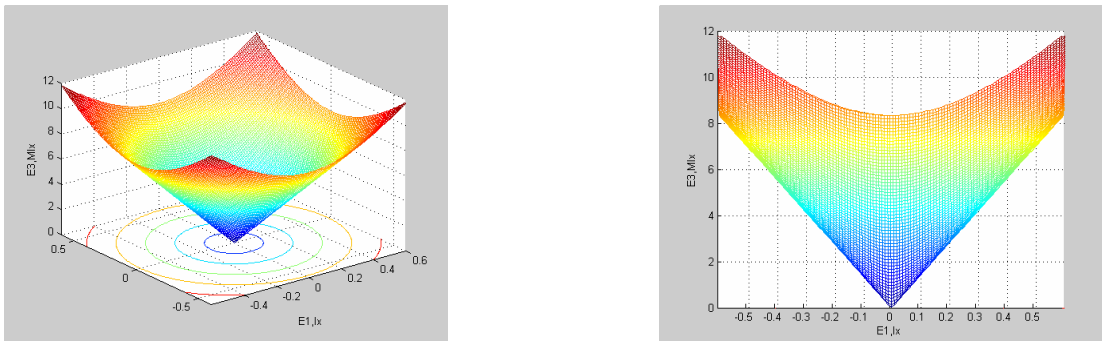


Рис.4. Графік визначення мінімального рівня освітленості на входному торці світловода при спостереженні об'єкта через ларингоскоп

Оптика світлодіода й застосовуваних розсіювачів значно впливають на формування світлового пучка. У зв'язку з цим при розгляді питання про заміну штатних джерел світла на світлодіодні освітлювачі треба дослідити оптичну конструкцію світлодіода для завдань ендоскопії. Так, у документації фірми „ОПТЕЛ” профілі світлодіодів СД У-98 й У-164 задані у вигляді таблиці. Скориставшись ними, для чотирьох точок складаємо систему із чотирьох рівнянь вигляду:

$$y^2 = Ax + Bx^2 + Cx^3 + Dx^4, \quad (9)$$

що дозволяє перевірити порядок поверхні. У результаті вирішення системи були отримані рівняння еліптичної поверхні.

Функція концентрації енергії дозволяє зробити висновок про світлорозподіл у поперечному перерізі світлового пучка світлодіода. Зображення світлорозподілу ковпака світлодіода є уявним і збільшеним, тобто ковпак світлодіода працює з кінцевої відстані на кінцеву. Скориставшись інваріантом Аббе, були визначені збільшення ковпаків СД У-334, У-98 і У-164:

$$b=S'/S . \quad (10)$$

Результати розрахунків дозволили рекомендувати використовувати у якості ковпака СД У-98 й У-164 поверхню не другого порядку (еліптичну), а поверхню четвертого порядку. Цей висновок впливає з аналізу абераційних властивостей ковпака на основі принципу Ферма.

Світлодіоди, що випускаються сьогодні, мають досить вузький енергетичний спектр випромінювання, що дозволяє віднести їх до так званих спектральних джерел світла. Виготовники світлодіодів приводять узагальнені спектри своїх виробів, що не дозволяють зробити досить точні розрахунки.

У зв'язку з цим нами розроблена математична модель спектра, що дозволяє розрахувати основні світлотехнічні параметри світлодіодів і пристроїв на їхній базі, таких як світлова ефективність, координати кольоровості, енергетичний і світловий баланс тощо.

Форма спектрів досить добре укладається в гаусовську криву, що описується рівнянням

$$\varphi_e(\lambda) = K_e * e^{-(\lambda - \lambda_{peak})^2 / \sigma^2}, \quad \begin{cases} \sigma = K_{left} * \ln(\lambda_{peak} - \lambda + K_{left}) \\ \sigma = K_{right} * \ln(\lambda_{peak} - \lambda + K_{right}) \end{cases}, \quad (11)$$

де λ – поточна довжина хвилі; λ_{peak} – пікова довжина хвилі; K_e , K_{left} , K_{right} – балансувальні коефіцієнти.

На рис. 5 показані (в діапазоні 400 - 700 нм) промодельовані спектри. При накладанні промодельованого спектра (тонкі кольорові лінії) на спектри, наведені в документації на повнокольоровий світлодіод, спостерігався збіг кривих (рис. 5), що доводить досить добру апроксимацію спектрів формулою (11).

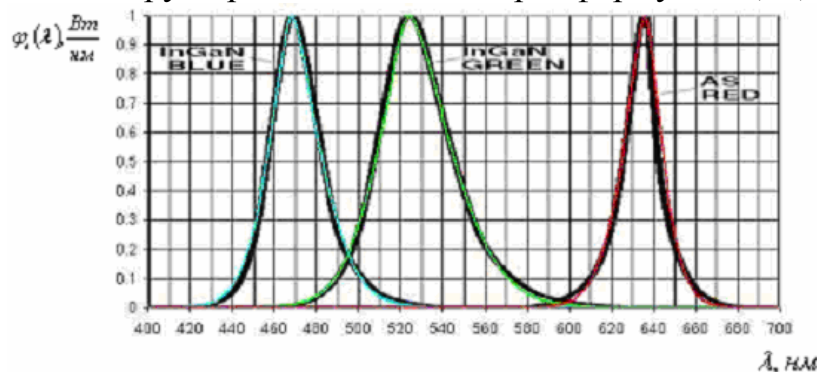


Рис.5. Промодельований спектр повнокольорового світлодіода

Моделювання спектра виконували за допомогою програми MATLAB пакета Fuzzy Logic Toolbox. Запропонована математична модель спектрів

світлодіодів, що дозволяє розрахувати основні світлотехнічні параметри світлодіодів і пристроїв на їхній базі: світлову ефективність, координати кольору, енергетичний і світловий баланс. Розглянуто два види ефективності світлодіодів. Показано, що залежно від форми діаграми помилка між наближеним розрахунком за паспортним значенням кута спостереження і уточненим розрахунком за діаграмою спрямованості може досягати 20-30%, тому треба користуватися розрахунком ефективності за діаграмами.

Четвертий розділ “Практичне застосування розробленого і виготовленого дослідного зразка освітлювача в клінічних дослідженнях” присвячений експериментальному дослідженню розробленого й виготовленого зразка освітлювача у клінічних обстеженнях.

Експериментальні дослідження з використання світлодіодів в освітлювальних установках ендоскопів проводили за допомогою оцінки й порівняння якості зображення, одержуваного при освітленні різноманітних об'єктів найбільш часто використовуваними в ендоскопії джерелами світла - галогенними лампами розжарювання і запропонованими нами для тих же цілей світлодіодами.

Дослідження виконували за розробленою нами методикою з використанням стандартних штрихових мір. Запропонована методика полягає в наступному:

- за допомогою досліджуваного в ендоскопі джерела світла освітлюється зображення штрихової міри (за допомогою ендоскопа), що фіксується за допомогою цифрового носія; зображення передається на комп'ютер і зберігається у форматах JPEG, TIFF, RAW (основні формати, використовувані даним типом пристроїв при збереженні зображення), а також в деяких інших форматах, підтримуваних цифровими носіями. Схема установки для оцінки якості зображення подана на рис. 6;

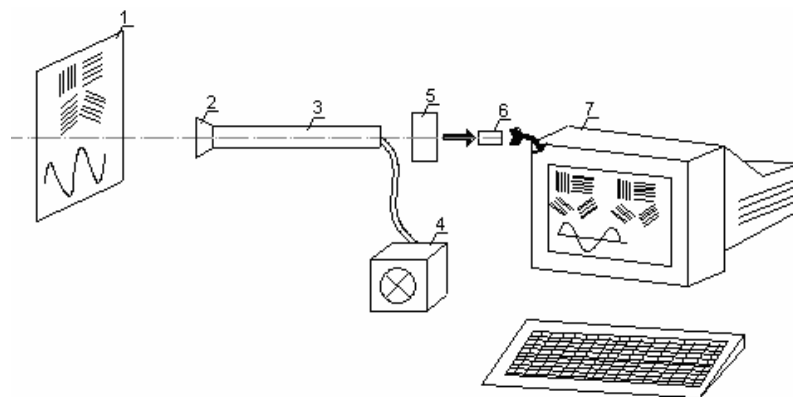


Рис. 6. Схема установки для оцінки якості зображення: 1 - тест -об'єкт; 2 - об'єктив ендоскопа; 3 - освітлювальний і спостережний канали ендоскопа; 4 - джерело світла; 5 – телекамера; 6 – МПЗ-матриця; 7 - комп'ютер

- потім зображення зчитується спеціалізованою програмою. Задаються межі інформаційного поля, а також просторова частота першого елемента міри й

коефіцієнт геометричної прогресії j , що характеризує зв'язок просторових частот елементів міри:

$$N_{i+1} = N_i / j, \quad (12)$$

де N – просторова частота; i – номер елемента міри;

- Виконується розрахунок контрасту зображення при різних просторових частотах за формулою:

$$K_L(N) = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}, \quad (13)$$

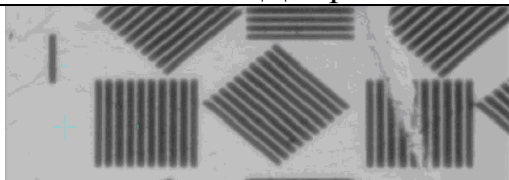
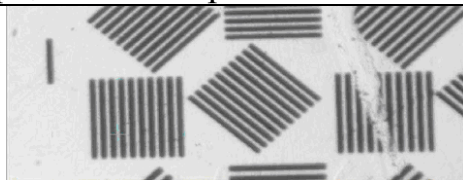
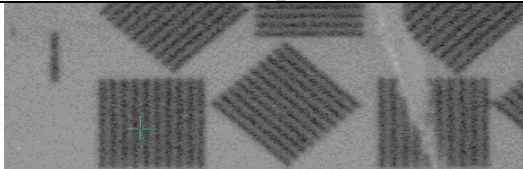
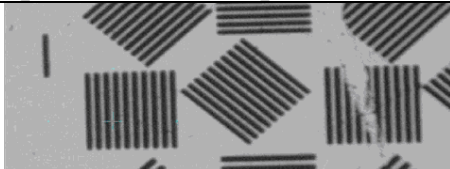

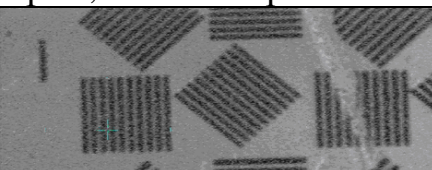
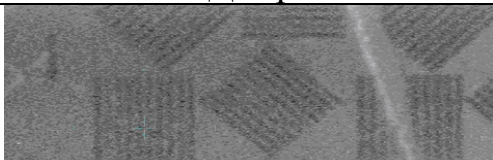
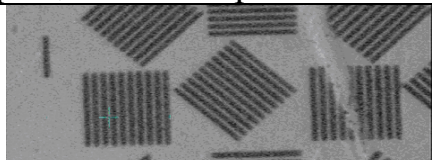
де L_{\max} , L_{\min} — максимальна й мінімальна яскравості зображення елемента міри із просторовою частотою N ;

- отримана залежність апроксимується; результати виводяться у вигляді графіків.

Наведені нижче сюжети дозволяють провести порівняння (таблиця 1)

Таблиця 1

Результати візуальних досліджень лампи розжарювання і світлодіода в ендоскопі

ЛАМПА		СВІТЛОДІОД	
Джерело світла без фільтра, об'єкт - міра			
			
Джерело світла з жовтим фільтром, об'єкт - міра			
			
Джерело світла з червоним фільтром, об'єкт - міра			
			
Джерело світла з синім фільтром, об'єкт - міра			
			

Як і треба було чекати, лампа розжарювання із синім фільтром дає гірший результат, ніж світлодіод з тим же фільтром, і навпаки, при роботі із червоним фільтром. Помітно, що градієнт світлорозподілу в зображенні для світлодіода

трохи кращий, ніж для лампи розжарювання. Порівняння чисто візуальне, має суб'єктивний характер. З метою кількісної оцінки наведено порівняння при роботі з мірами із просторовими частотами 455, 333, 250, 167, 91. Із загального зображення виділений однаковий фрагмент і виконаний розрахунок контрасту зображення і побудований графік функції передачі контрасту (рис.7). З ходу кривих бачимо, що на середніх частотах для світлодіода передаточна функція вище приблизно в 2 рази.

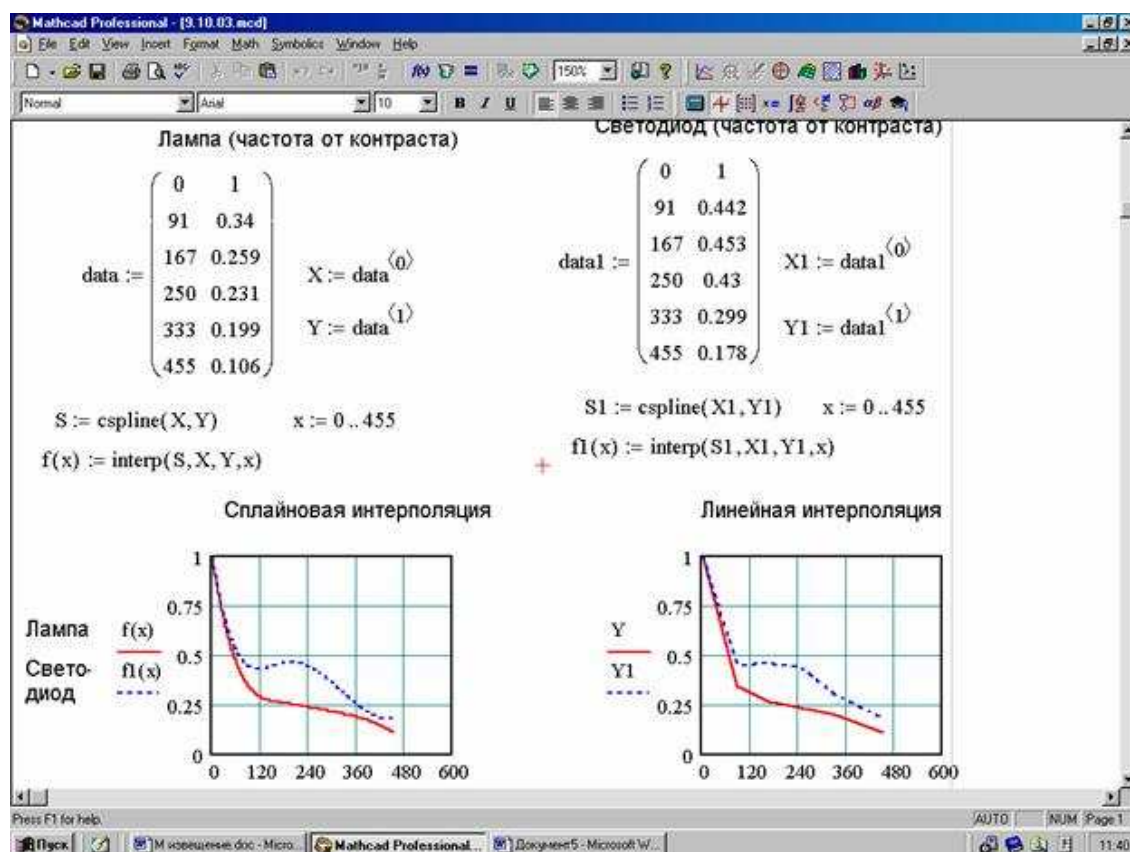


Рис.7. Розрахунок контрасту зображення. Графік функції передачі контрасту

Раніше нами була розглянута можливість застосування світлодіодів в освітлювачах медичних ендоскопів, що стало можливим завдяки підвищенню світлових, електричних й експлуатаційних параметрів. Однак дотепер не проводилися науково обґрунтовані дослідження, що дають можливість судити про негативний вплив цих нових джерел світла на сталі характеристики зорового процесу.

Метою нашого експерименту було дослідження часу ахроматичної адиспаропії і обсягу абсолютної акомодатії від тривалості зорової роботи в умовах змінюваного рівня освітленості робочої поверхні в діапазоні від 200 до 1000 лк (табл. 2).

Таблиця 2

Зміна часу ахроматичної адиспаропії і обсягу абсолютної акомодатії при різних рівнях освітленості робочої поверхні при освітленні світлодіодами

Освітленість, лк	Статистичні показники			
	Час ахроматичної адиспаропії, відн. од.		Обсяг абсолютної акомодатії, дптр.	
	До роботи	Після роботи	До роботи	Після роботи
200	12,62	8,92	8,11	5,82
500	14,25	11,33	9,10	7,21
750	15,31	13,17	10,23	8,48
1000	16,67	14,91	11,28	9,09

Аналіз даних показує, що для кожного рівня освітленості робочої поверхні в діапазоні від 200 до 1000 лк час ахроматичної адиспаропії після двох годин зорового навантаження зменшується в 1,41-1,12 раза після виконання зазначеного виду зорової роботи. Зі збільшенням освітленості час адиспаропії збільшується до початку роботи на 32,1%, а після двох годин зорового навантаження - на 67,2%. Збільшення часу ахроматичної адиспаропії при зростанні освітленості пояснюється зниженням граничного контрасту об'єкта із фоном і поліпшенням видимості полів порівняння тест-об'єкта. Можна також помітити, що обсяг абсолютної акомодатії з ростом освітленості робочої поверхні збільшується, причому після зорового навантаження обсяг абсолютної акомодатії на всьому діапазоні освітленостей зменшується на 17,1-28,2%, що, у свою чергу, дозволяє говорити про втомлення органа зору. Зменшення обсягу абсолютної акомодатії при виконанні напружених зорових робіт спостерігалось й іншими авторами.

У ході досліджень встановлено, що світлодіодне освітлення не чинить негативного впливу на сталі характеристики зорового процесу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконано системний аналіз вітчизняних і закордонних медичних ендоскопів, а також захворювань вуха-горла-носа, що підлягають обстеженню і лікуванню за допомогою волоконних ендоскопів. Створена класифікація типів захворювань обстежуваних ЛОР-органів відповідно до колірних змін, виникаючих при даних захворюваннях, конструктивних рішень освітлювальних систем медичних ендоскопів, а також шляхів підвищення їх якості на основі практики відомих досліджень і проведених автором натурних випробувань. У результаті виконаної роботи:

1. Отримані рішення завдань теорії розрахунку й моделювання світлодіодних освітлювальних пристроїв, які дозволяють істотно скоротити обсяг експериментальних досліджень або повністю їх виключити, що дає змогу значно

знизити витрати матеріальних ресурсів, коштів і часу на випробування виробів. Крім цього, окремі теоретичні результати є певним внеском у загальну теорію моделювання світлотехнічних систем.

2. Створено нову конструкцію освітлювача волоконних ендоскопів зі світлодіодами, що дозволяє істотно підвищити ефективність використання ендоскопів при дослідженні й лікуванні органів вуха-горла-носа. Розроблені світлодіодні освітлювачі дозволяють поліпшити якісні показники відомих ендоскопічних пристроїв, підвищити їх світлотехнічні характеристики. Результати експериментальних досліджень різних медичних освітлювальних пристроїв, явищ і процесів, наведені в роботі, становлять практичний інтерес при проектуванні нових і модернізації відомих освітлювальних пристроїв, дозволяють уточнити уявлення про процеси, супровідні процесам освітлення діагностованої або операційної порожнини.

3. Розроблені: математична модель операційної порожнини з урахуванням анатомічних особливостей людини; методика розрахунку мінімізації рівня освітленості на базі комплексного світлотехнічного розрахунку з урахуванням коефіцієнта багаторазових відбиттів і покращення параметрів освітлювальних систем медичних ендоскопів. Знайдено апроксимуючі залежності розрахунку спектра світлодіодів, побудовані за результатами машинного експерименту. Розроблені теоретичні підходи дозволили провести якісний і кількісний аналіз необхідних величин освітленості порожнини, досліджуваної за допомогою ендоскопа.

4. Оцінено світловий потік випромінюючого кристала в оптичній системі світлодіода.

5. Отримано результати експериментальних досліджень впливу світлодіодного освітлення на апарат органа зору. Випробування світлодіодних освітлювальних систем медичних ендоскопів проведені за допомогою оцінки якості зображення.

6. Розроблені й апробовані технічні вимоги до якості освітлення при ендоскопічних дослідженнях, з використанням різних джерел світла.

7. Розроблені теоретичні положення і нові технічні рішення апробовані експериментально. Дослідження забезпечені метрологічно й проводилися на базі Харківської національної академії міського господарства. Одержані результати випробувань аналізувалися і зіставлялися з відомими даними інших дослідників.

8. Результати дисертаційної роботи впроваджені в клінічному центрі ендоскопічних та проктологічних досліджень «Клініка Проценко», в виробництві АО «Виола», в ООО «Украинский НИИ источников света», а також у навчальний процес на кафедрі світлотехніки та джерел світла Харківської національної академії міського господарства.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Васильєва Ю.О. Стан сучасних ендоскопів для оториноларингології // Світлотехніка та електроенергетика. - 2004. - №3. - С.44 – 46.
2. Н.О.Ільїна, Ю.О.Васильєва. Освітлювач медичних ендоскопів зі світлодіодними модулями // Світлотехніка та електроенергетика. - 2004. - №4. - С.18 – 21.
3. Н.О.Ільїна, Ю.О.Васильєва. Аналіз ефективності роботи світлодіодів в освітлювальних пристроях медичних приладів // Світлотехніка та електроенергетика. - 2005. - №5. - С.25 – 29.
4. Васильєва Ю.О. Визначення світлових параметрів освітлювальних систем медичних ендоскопів // Світлотехніка та електроенергетика. - 2005. - №6. - С.27-30.
5. Ильина Н.А., Васильева Ю.О. Светотехнический расчет волоконного осветителя для эндоскопии // ЕЛЕКТРОінформ. - 2006. - №3. - С.9-10.
6. Васильєва Ю.О. Экспериментальная оценка качества изображения светодиодных осветительных систем для эндоскопии // Світлотехніка та електроенергетика. - 2006. - №7.
7. Васильєва Ю.О. Критерии оценки качества осветительных систем эндоскопов // СВІТЛО. - 2006. - №6. - С.32-34.
8. Ильина Н.А., Васильева Ю.О. Оценка эффективности светодиодов при создании на их основе осветителей для медицинских приборов // Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции «Физические и технические проблемы светотехники и электроэнергетики». – Харьков: ХНАГХ, 2005.
9. Ильина Н.А., Васильева Ю.О. Использование светодиодных осветительных приборов при эндоскопических исследованиях для оценки цвета повреждения биологических тканей // Тезисы докладов конференции аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков: ХНАГХ, 2006.

АНОТАЦІЯ

Васильєва Ю.О. Світлодіодні освітлювальні системи медичних ендоскопів для оториноларингології. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.07 – світлотехніка та джерела світла. – Харківська національна академія міського господарства, Харків, 2007.

Дисертація присвячена дослідженню світлотехнічних процесів і характеристик волоконних освітлювальних систем медичних ендоскопів нового класу.

У дисертаційній роботі запропонована освітлювальна система, в якій як джерело світла використано світлодіоди.

Встановлено аналітичний взаємозв'язок комфортності спостереження через волоконні ендоскопи із зоровою працездатністю.

Запропоновано математичну модель операційної порожнини у вигляді апроксимації рани у формі повного конуса, що дало можливість одержати розрахункові формули й криві, які дозволяють визначити значення коефіцієнта використання площі основи порожнини щодо її бічної поверхні.

Описано принцип побудови комп'ютерної моделі в середовищі MathLab для світлотехнічного розрахунку волоконного освітлювача для ендоскопії, відповідно до розробленої методики.

Розроблено методику оцінки якості зображення медичних ендоскопів залежно від джерела світла, застосовуваного в освітлювачі. Аналіз експериментального використання світлодіодів і штатних джерел світла в ендоскопі за наведеною методикою показав переваги світлодіодів перед галогенними лампами розжарювання.

Ключові слова: волоконний освітлювач, медичний ендоскоп, світлодіод, оптоволокну, освітленість, спектр випромінювання.

АННОТАЦИЯ

Васильева Ю.О. Светодиодные осветительные системы медицинских эндоскопов для оториноларингологии. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.07 – светотехника и источники света. – Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков, 2007.

Диссертация посвящена исследованию светотехнических процессов и характеристик нового класса волоконных осветительных систем медицинских эндоскопов.

В диссертационной работе предложена осветительная система, в качестве источника света которой предлагается использование светодиодов на основе полупроводниковых соединений.

Установлена аналитическая взаимосвязь комфортности наблюдения ψ через волоконные эндоскопы со зрительной работоспособностью. Приведенные результаты экспериментальных исследований, с одной стороны, подтверждают аналитическую взаимосвязь комфортности наблюдения через волоконные эндоскопы со зрительной работоспособностью η , а с другой – подчеркивают частный характер полученных результатов вследствие многофакторности процесса визуального восприятия.

Предложена математическая модель операционной полости в виде аппроксимации раны в форме полного конуса, что дало возможность получить расчётные формулы и кривые, позволяющие устанавливать значение коэффициента использования площади основания полости относительно её боковой поверхности.

Установлено, что источник света – его размеры, форма светящегося тела и распределение яркости $L_0(x)$ по его поверхности оказывают прямое воздействие на работу эндоскопа, качество изображения. Обосновано использование светодиодов в качестве источника света в осветителе для эндоскопии.

Описан принцип построения компьютерной модели в среде MathLab для светотехнического расчета волоконного осветителя для эндоскопии, согласно разработанной методике. Расчет показал, что система “эндоскоп-глаз” должна обеспечивать освещенность на сетчатке глаза не менее 0,6 лк. Получены графики определения минимального уровня освещенности на входном торце световода при наблюдении объекта через ларингоскоп.

Показано, что значение величины излучаемой мощности светодиодов является достаточным для совместной работы с телекамерой средней чувствительности, при использовании светодиодов в качестве источников света в волоконном эндоскопе.

Предложена посредством программы MathLab пакета Fuzzy Logic Toolbox математическая модель спектров светодиодов, позволившая рассчитать основные светотехнические параметры светодиодов и устройств на их базе: световую эффективность, координаты цвета, энергетический и световой баланс. Рассмотрено два вида эффективности светодиодов. Показано, что в зависимости от формы диаграммы ошибка между примерным расчетом по паспортным значениям угла наблюдения и уточненным расчетом по диаграмме направленности может достигать 20-30%, поэтому по возможности следует пользоваться расчетом эффективности по диаграммам.

Разработана методика оценки качества изображения медицинских эндоскопов в зависимости от источника света, применяемого в осветителе. Анализ экспериментального использования светодиодов и штатных источников света в эндоскопе, по приведенной методике, показал преимущества светодиодов перед галогенными лампами накаливания.

Проведены научно-обоснованные исследования, дающие возможность судить о негативном воздействии светодиодов на установившиеся характеристики зрительного процесса. Было исследовано время ахроматической адиспаропии и объем абсолютной аккомодации от продолжительности зрительной работы в условиях изменяемого уровня освещенности рабочей поверхности светодиодами. В ходе исследований определено, что светодиодное освещение не оказывает негативного воздействия на установившиеся характеристики зрительного процесса.

Ключевые слова: волоконный осветитель, медицинский эндоскоп, светодиод, оптоволокно, освещенность, спектр излучения.

ABSTRACT

Vasiljeva J.O. Fiberscop's light installation for otorhinal with employing LED.

Thesis for candidate degree of technical sciences of speciality 05.09.07 – Lighting Engineering and Sources of Light. – Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Kharkiv, 2007.

The thesis is dedicated to research lightengeniering processes and characteristics of a new class of fiber harness illuminating systems of medical fiberscope.

In thesis was provided an illuminating system, as source of light propose use light emitting diodes on base half conductor junction.

The connection a comfort of observation ψ through fiberscop with optic capacity for work was mounted.

The mathematical model of operate space in form of absolute cone which have given a possibility to receive a calculating formulas and curved, which permit to establish a meaning of coefficient of use area of foundation space with regard to it lateral surface is proposed.

A principle of construction a computer's model in surrounding Mathlab for lightengeniering count fiberscop's illuminator for medical examination, according to working out method is described.

The method of estimation quality image of medical fiberscop in dependence on a source of light, which use in illuminator has been developed.

Analysis of experimental use and state source of light in fiberscop by this method, had show advantage of light emitting diodes in front of the halogen lamps.

Key words: fiber illuminator, medical fiberscop, light emitting diode, fiber harness, illumination, spectrum of radiation.

Відповідальний за випуск проф. М.С.Золотов

Підписано до друку 28.02.2007 р.
Папір офісний

Формат 60 × 90/16..
Ум. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим.

Друк на ризографі.
Зам. № 3399.

Харківська національна академія міського господарства
Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12